

In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful



Copyright disclaimer

"La faculté" is a website that collects medical documents written by Algerian assistant professors, professors or any other health practicals and teachers from the same field.

Some articles are subject to the author's copyrights.

Our team does not own copyrights for some content we publish.

"La faculté" team tries to get a permission to publish any content; however , we are not able to contact all authors.

If you are the author or copyrights owner of any kind of content on our website, please contact us on: facadm16@gmail.com to settle the situation.

All users must know that "La faculté" team cannot be responsible anyway of any violation of the authors' copyrights.

Any lucrative use without permission of the copyrights' owner may expose the user to legal follow-up.



La Bioénergie

Introduction

Pour se maintenir en vie, croître et se reproduire les cellules vivantes effectuent en permanence un travail (Synthèse de composés, transport, contraction, génération de potentiel électrique

A fin de réaliser ses travaux, les organismes vivants doivent extraire de l'énergie et de la matière à partir de leur environnement.

Introduction

Les organismes peuvent être divisés en deux classes étroitement liées :

- ▶ **les autotrophes:** reçoivent l'énergie **lumineuse** du soleil et la convertissent en **énergie chimique** sous forme de molécules organiques complexes
- ▶ **les hétérotrophes:** utilisent les composés synthétisés par les autotrophes comme source d'énergie

Ces composés réduits vont être dégradés par l'organisme grâce aux différentes réactions cataboliques.

Introduction

La science qui étudie le transfert d'énergie dans l'univers est **la thermodynamique**.

Le flux d'énergie chez les organismes vivants est la Bioénergétique.

Définition

La thermodynamique est la description quantitative des échanges d'énergie entre travail et chaleur.

Elle repose sur:

- Le concept de système
- Les principes de base

Définition

La bioénergétique est l'étude quantitative des transferts d'énergie se produisant dans les cellules vivantes.

Notion de système, thermodynamique et d'énergie

1. Définition:

Un système est toute portion de l'espace (univers) qui contient la matière étudiée.

Tout ce qui entoure ce système constitue son environnement (milieu extérieur).

Notion de système, thermodynamique et d'énergie

2– Type de système:

- Isolé
- Fermé
- Ouvert

Notion de système, thermodynamique et d'énergie

3– Définition de l'énergie:

Est la faculté que possède un système à fournir un travail.

Elle peut être sous différentes formes: calorifiques, électrique, chimique

Une autre forme d'énergie: La chaleur

$$\text{Energie} = \text{Travail} + \text{Chaleur}$$

Principe de la thermodynamique

1. Premier principe:

Repose sur la conservation d'énergie: lors de toute modification physique ou chimique il n'y a ni création ni perte d'énergie.



Principe de la thermodynamique

La différence du contenu d'énergie du système entre l'état initial et l'état final doit être compensée par une différence du contenu d'énergie du milieu extérieur

(Chaleur ou travail)

Enthalpie: Chaleur présente dans la molécule ou dans le système à pression constante.

Principe de la thermodynamique

2. Second principe:

Indique que le désordre est plus probable que l'ordre

Définition de l'entropie:

Expression quantitative du hasard et du désordre d'un système.

Tous processus spontané doit provoquer l'augmentation de l'entropie de l'univers.

Energie libre de Gibbs

Variation d' Energie libre ΔG :

Mesure la partie de l'énergie du système qui produit un travail utile, à température et pression constante.

ΔG est un critère de spontanéité d'une réaction:

$\Delta G < 0$: Réaction exergonique et peut se faire spontanément

$\Delta G > 0$: Réaction endergonique et nécessite un apport d'énergie

$\Delta G = 0$: Etat d'équilibre

Energie libre de Gibbs

Variation d' Energie libre standard ΔG^0 :

Etat standard: Comparer les ΔG des différentes réactions

En chimie:

Pression: 1 atm

Température: 25°C (298 Kelvins)

Concentration des solutés 1 M

Dans ces conditions: l'énergie libre de Gibbs est ΔG^0

Energie libre de Gibbs

Variation d' Energie libre standard ΔG^0 :

En Biochimie: Les conditions sont différentes, puisque dans la cellule les réactions ont lieu en milieu aqueux très dilué à pH=7: $[H^+] = 10^{-7}$

$[H_2O] = 55.5 \text{ M}$

Pression: 1 atm

Température: 25°C (298 Kelvins)

Dans ces condition: l'énergie libre de Gibbs est $\Delta G^{0'}$

Energie libre de Gibbs

Intérêt:

$\Delta G^0'$ constante caractéristique de chaque réaction, elle permet de classer les réactions selon le critère de leur $\Delta G^0'$

Exemple:



Energie libre d'activation

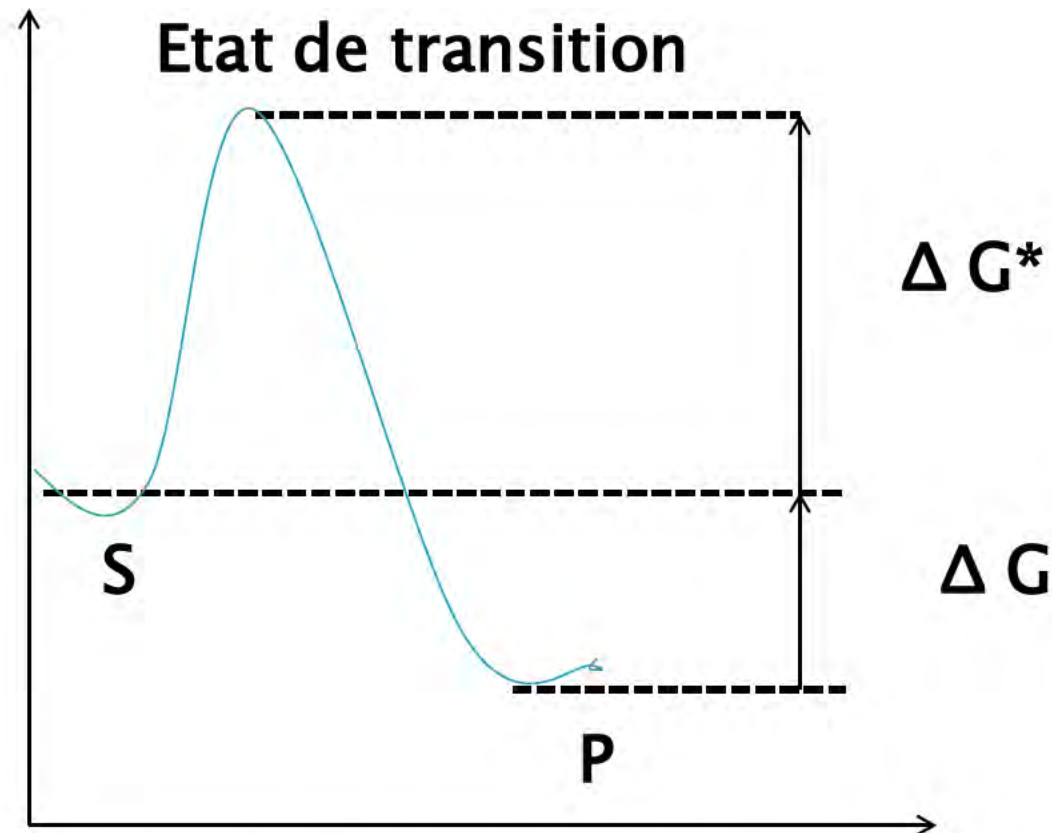


Diagramme énergétique d'une réaction exergonique

Energie libre de Gibbs

Les réactions exergoniques ont lieu lentement car l'état initial **S** (Haute énergie libre) est séparé de l'état final **P** (à basse énergie libre) par un état de transition d'énergie libre supérieure à l'état initial.

Pour que la réaction ait lieu, les molécules doivent surmonter cette barrière, et leur niveau d'énergie doit donc s'élever

Energie libre de Gibbs

La différence de l'énergie libre entre l'état initial et l'état de transition est **l'énergie libre d'activation**

La vitesse d'une réaction est inversement proportionnelle au ΔG^*

Exemple: Diminution ΔG^* en présence d'un catalyseur

Le couplage énergétique

De nombreuses réactions métaboliques ont un ΔG° défavorable, qui ne permettrait pas spontanément la synthèse de composés dont l'organisme à besoin

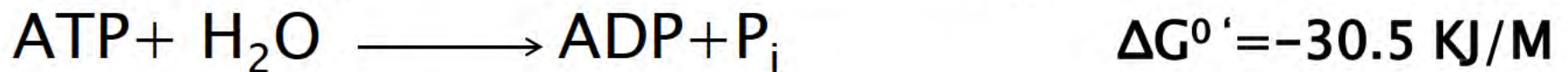
C'est réactions peuvent avoir lieu par couplage énergétique qui associe une réaction endergonique, à une réaction exergonique

Le couplage énergétique

Conditions:

La somme des $\Delta G^{\circ'}$ des deux réactions doit être négative

Les deux réactions doivent partager un intermédiaire commun



Le potentiel d'oxydoréduction

La plupart des réactions biochimiques sont des réactions d'oxydoréduction

Rappel:

Une réaction d'oxydoréduction est une réaction dans laquelle deux composés chimiques s'échangent des électrons. L'un des composés va donner des électrons (riche en électrons) et l'autre va recevoir ces derniers (Pauvre en électrons)

Le potentiel d'oxydoréduction

Le donneur d'électrons: Réducteur, subit une oxydation

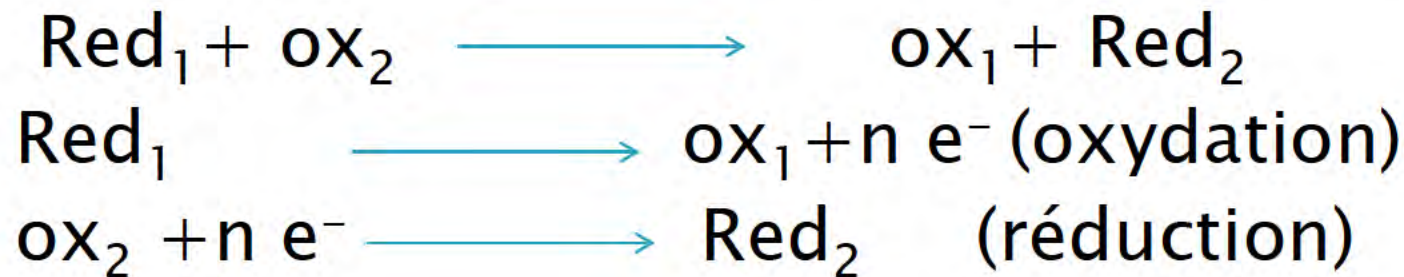
L'accepteur d'électrons: Oxydant, subit une réduction

Un atome s'oxyde lorsqu'il perd un ou plusieurs électrons: **Oxydation**

Un atome se réduit lorsqu'il gagne un ou plusieurs électrons: **Réduction**

Les deux réactions doivent se produire simultanément.

Le potentiel d'oxydoréduction



Le réducteur et l'oxydant de chaque demi réaction forment un couple redox.

Le potentiel d'oxydoréduction

On définit pour chaque couple redox un potentiel d'oxydoréduction: il renseigne sur l'aptitude de l'oxydant à gagner des électrons, ou du réducteur à en perdre (Energie de transfert des électrons)

Définition du potentiel Redox:

Force électromotrice définie par la force d'attraction des électrons qui se crée grâce à la différence d'affinité pour ces électrons entre deux composés chimiques, l'un donneur d'électrons et l'autre accepteur.

Le potentiel d'oxydoréduction

Potentiel Redox standard E_0 :

On travaille dans des conditions standards:

T:25°C

Pression: 1 atm

Concentrations des formes oxydées et réduites: 1 M

En Biochimie, on fixe le pH=7. le potentiel Redox est noté E_0'

Le potentiel d'oxydoréduction

Si on met en présence 2 couples d'oxydoréduction, le couple qui aura le plus petit potentiel redox va s'oxyder, et celui qui a le plus grand potentiel redox se réduit.

- Les composés les plus réducteurs ont le potentiel redox le plus petit. Ils sont dits **électronégatifs**
- Les composés les plus oxydants ont le potentiel redox le plus grand. Ils sont dits **électropositifs**

Le potentiel d'oxydoréduction

TABLEAU 16-4 Potentiels de réduction standard de quelques demi-réactions importantes en biochimie

Demi-réaction	E° (V)
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$	0,815
$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	0,48
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	0,42
Cytochrome a_3 (Fe^{3+}) + $e^- \rightleftharpoons$ cytochrome a_3 (Fe^{2+})	0,385
$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	0,295
Cytochrome a (Fe^{3+}) + $e^- \rightleftharpoons$ cytochrome a (Fe^{2+})	0,29
Cytochrome c (Fe^{3+}) + $e^- \rightleftharpoons$ cytochrome c (Fe^{2+})	0,235
Cytochrome c_1 (Fe^{3+}) + $e^- \rightleftharpoons$ cytochrome c_1 (Fe^{2+})	0,22
Cytochrome b (Fe^{3+}) + $e^- \rightleftharpoons$ cytochrome b (Fe^{2+}) (mitochondrial)	0,077
Ubiquinone + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ ubiquinol	0,045
Fumarate $^-$ + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ succinate $^-$	0,031
$\text{FAD} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{FADH}_2$ (dans les protéines)	-0,040
Oxaloacétate $^-$ + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ malate $^-$	-0,166
Pyruvate $^-$ + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ lactate $^-$	-0,185
Acétylaldéhyde + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ éthanol	-0,197
$\text{FAD} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{FADH}_2$ (dans le cytosol)	-0,219
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}$	-0,23
Acide lipoïque + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ acide dihydrolipoïque	-0,29
$\text{NAD}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{NADH}$	-0,315
$\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{NADPH}$	-0,320
Cystine + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ cystéines	-0,340
Acétoacétate $^-$ + $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ β -hydroxybutyrate $^-$	-0,346
$\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{H}_2$	-0,421
Acétate + $3\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons$ acétylaldéhyde + H_2O	-0,581

Relation entre potentiel d'oxydoréduction et variation d'énergie libre

Lorsque 2 couples redox sont présents dans une solution, la quantité d'énergie fournie par le flux d'électrons entre ces 2 couples et permettant de produire du travail est proportionnelle à $\Delta E_0'$.

$$\Delta G_{0=} - Nf.\Delta E_0'$$

Relation entre potentiel d'oxydoréduction et variation d'énergie libre

Remarque:

- On peut prévoir le sens du transfert des électrons d'une réaction d'oxydoréduction à partir du potentiel redox.
- Pour qu'une réaction redox se produisent spontanément, il faut que:

$$\Delta G_0' < 0 : \Delta E_0' > 0$$

Les enzymes d'oxydoréduction

Les réaction d'oxydoréduction sont catalysés par **les oxydoréductases**.

- Les hydro peroxydases et oxygénases
- Les oxydases et les déshydrogénases

Les oxydases: catalysent des réactions ou l'oxygène est l'accepteur final d'électrons



Déshydrogénases:

- catalysent des réactions redox ou l'accepteur final d'électrons n'est pas l'oxygène.
- Utilisent des co-enzymes qui sont des transporteurs d'électrons.

Les enzymes d'oxydoréduction

Déshydrogénases à NAD:



L'ATP et les composés riches en énergie

I- L'ATP:

L'ATP est un nucléotide constitué de:

- Base azotée purique: Adénine
- D-ribose
- 3 groupement phosphate α , β , γ
- 2 liaisons riches en énergie

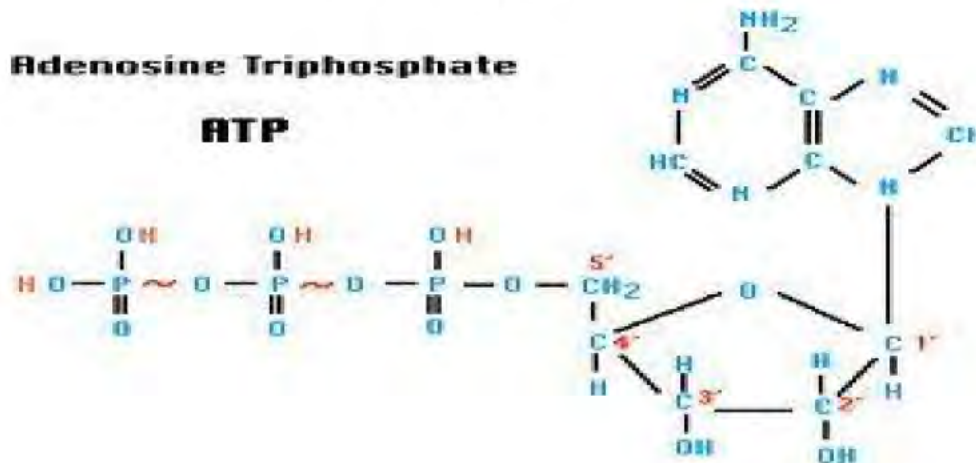
La forme active de l'ATP est un complexe
 ATP-Mg^{+2}

L'ATP et les composés riches en énergie

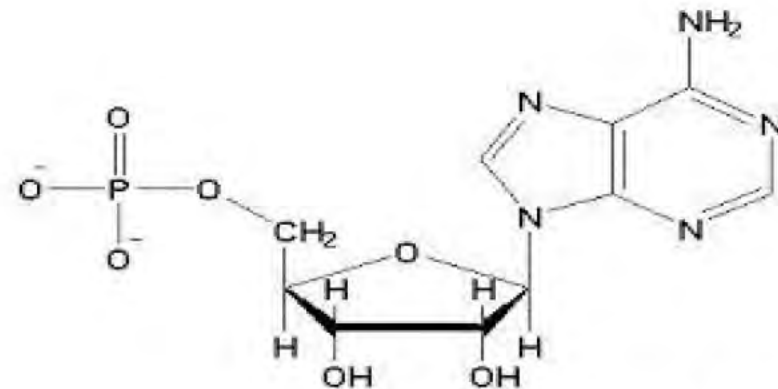
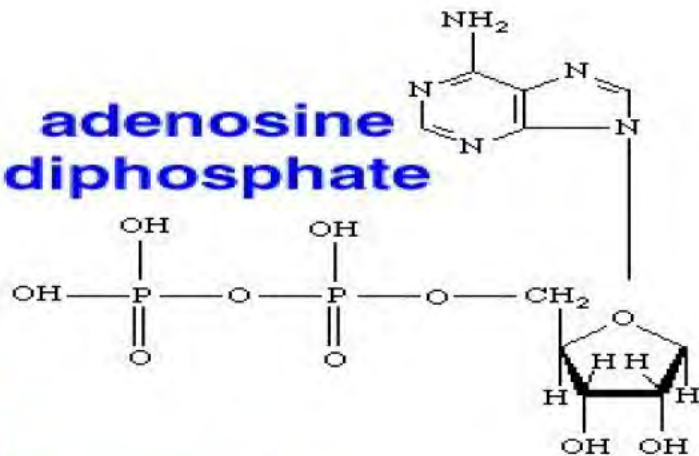
I- L'ATP:

Adenosine Triphosphate

ATP



adenosine diphosphate



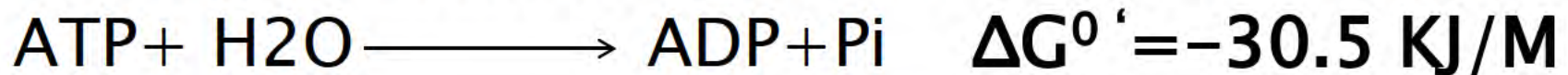
Adenosine 5'-Monophosphate

L'ATP et les composés riches en énergie

II– Hydrolyse de L'ATP:

L' ATP est doublement riche en énergie:

- Dans certaines réactions elle perd un phosphate et devient ADP
- Dans certaines 2 phosphates et devient AMP



2 facteurs importants:

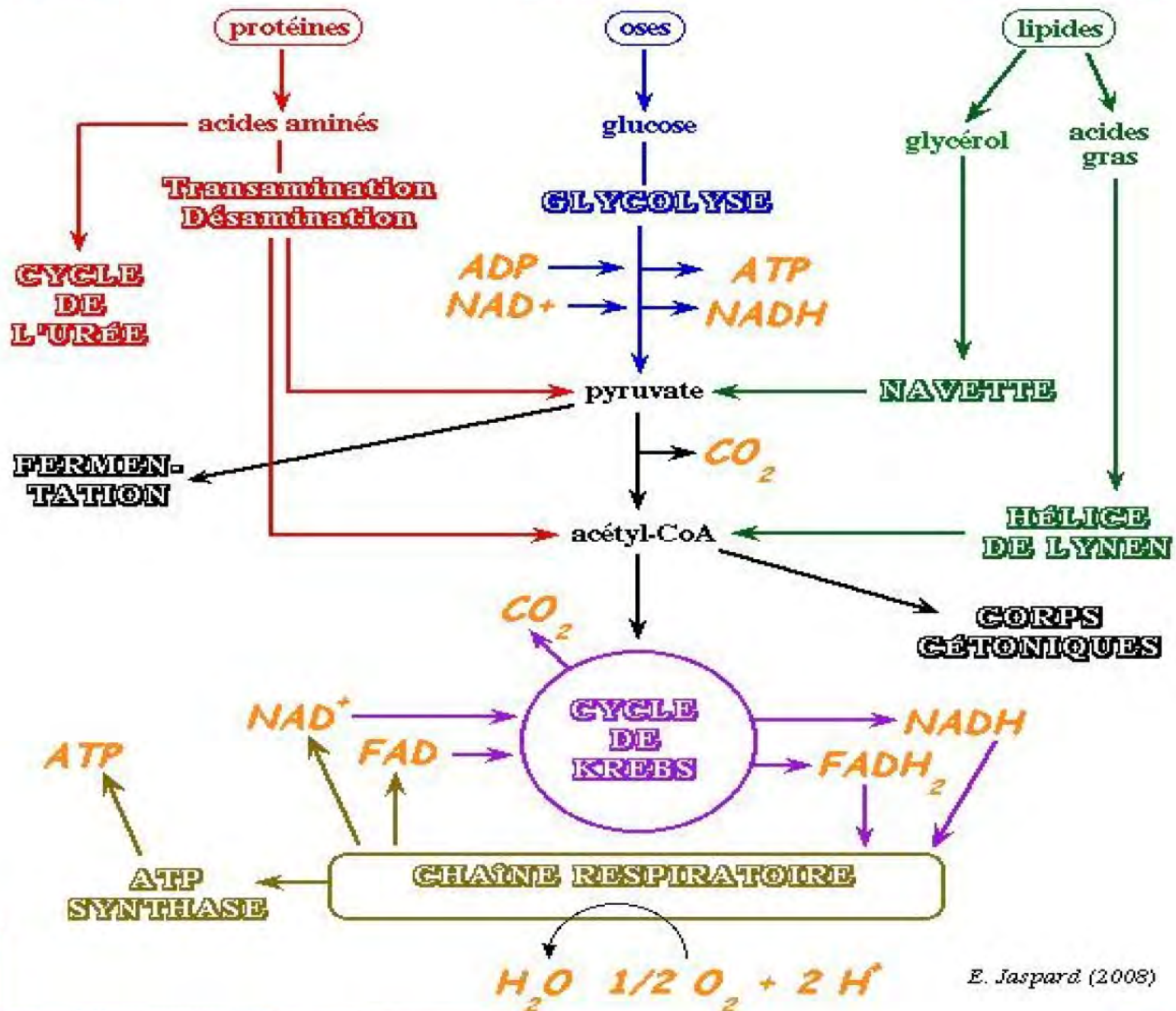
Répulsion électronique
Stabilisation par résonance

L'ATP et les composés riches en énergie

III– Synthèse de L'ATP:

L'ATP est formée à partir d'ADP et Pi lorsque des molécules très énergétiques sont oxydées selon la réaction suivante:





E. Jaspard (2008)

L'ATP et les composés riches en énergie

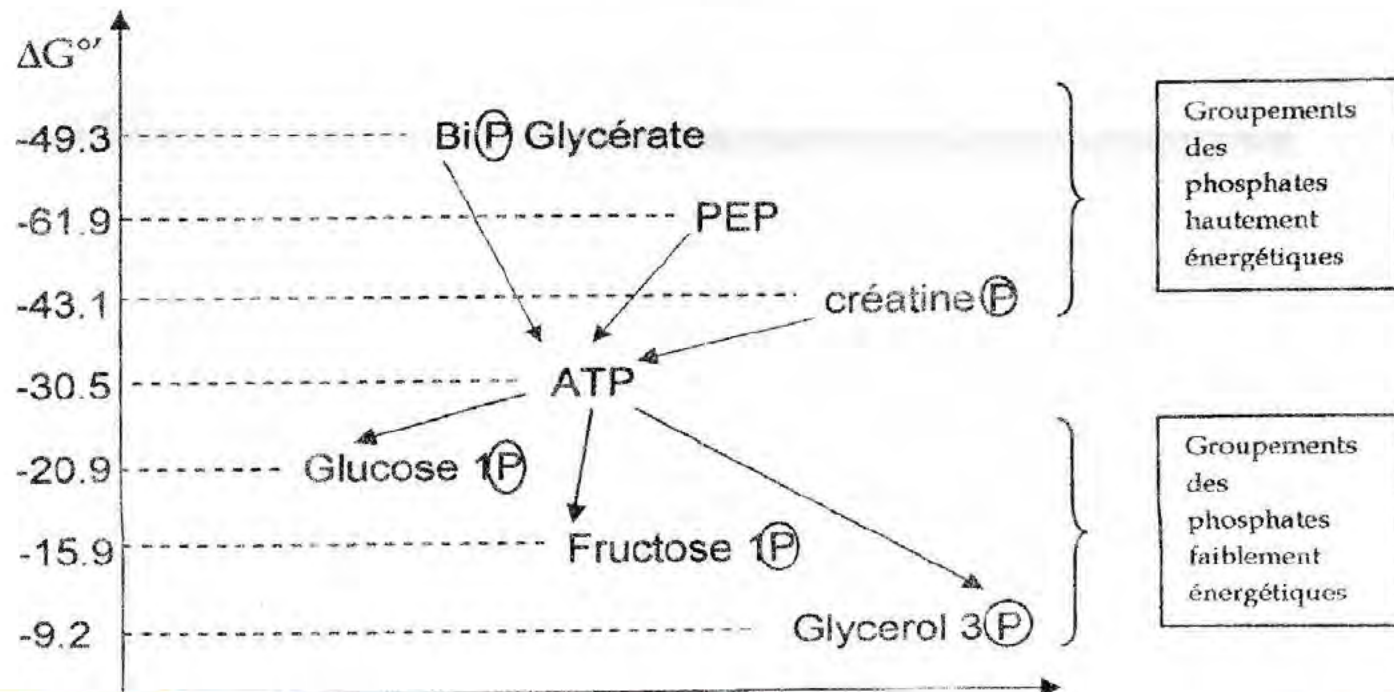
III– Rôle de L'ATP:

- L'ATP joue un rôle central dans le transfert d'énergie libre depuis les réactions exergoniques, aux réactions endergoniques.

L'ATP et les composés riches en énergie

Les composés riches en énergie:

Il existe plusieurs types de liaisons riches en énergie (liaison à haut potentiel d'hydrolyse)



L'ATP et les composés riches en énergie

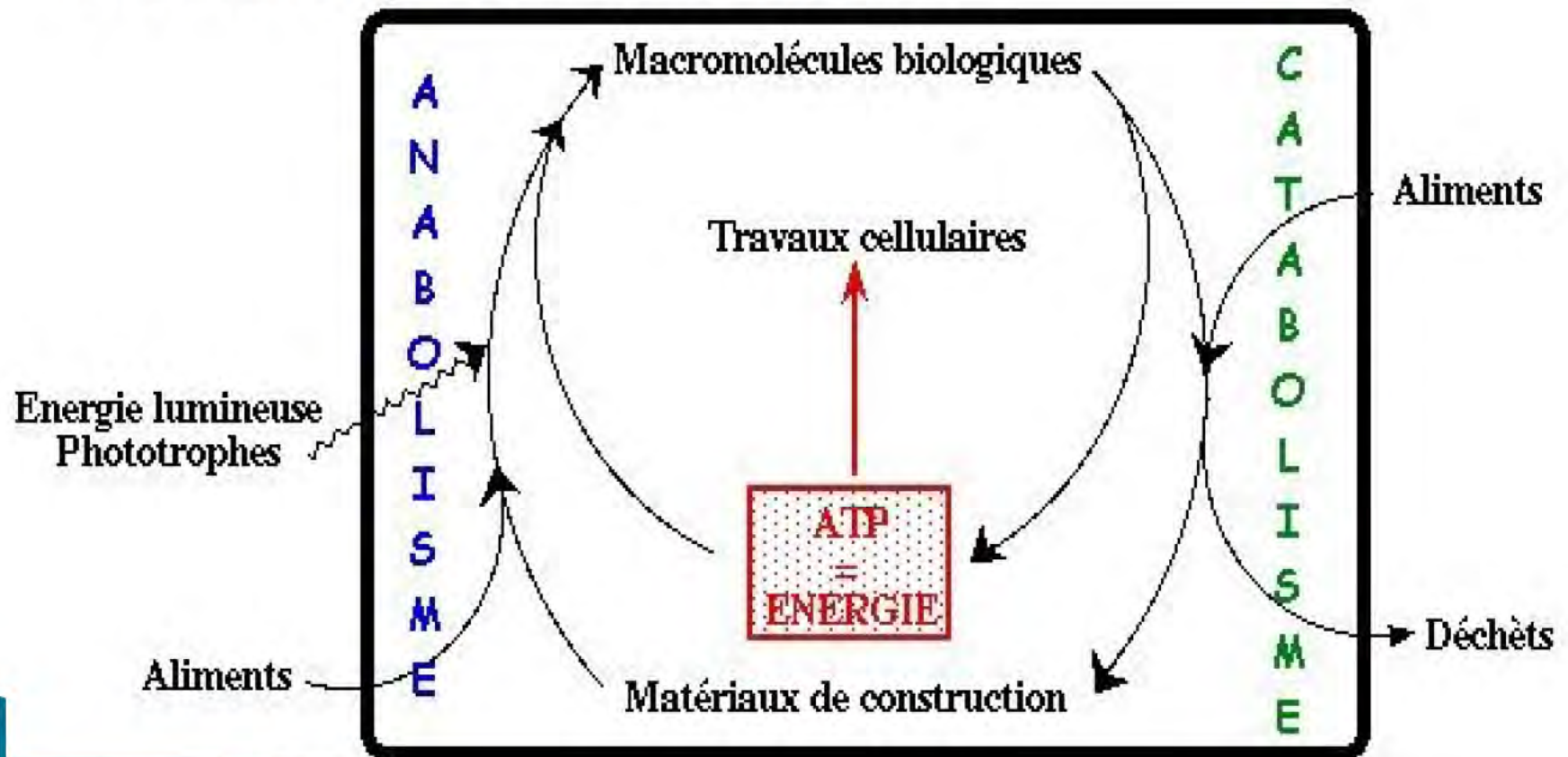
On note que ΔG° de ces composés est supérieure à celui de l'hydrolyse de l'ATP.

Ces composés permettent la formation de l'ATP par transfert de groupement phosphate.

L'ATP à son tour donnera naissance à des composés ou dérivés plus pauvre en énergie

L'ATP et les composés riches en énergie

L'ATP constitue un intermédiaire entre le catabolisme et l'anabolisme



La phosphorylation oxydative

La phosphorylation oxydative est l'aboutissement du métabolisme libérant de l'énergie chez les organismes aérobies.

Toutes les étapes enzymatiques de la dégradation oxydative des sucre, lipides, et des acides aminés convergent vers ce stade ultime de la respiration cellulaire,

Durant lequel le transfert d'électrons jusqu'à l'oxygène fournit l'énergie nécessaire à la formation d'ATP à partir d'ADP et P_i

La phosphorylation oxydative

1 – Définition:

C'est l'ensemble des mécanismes biochimiques par l'intermédiaire desquels l'énergie libérée au cours du transfert des électrons dans la chaîne respiratoire, est utilisée pour la phosphorylation de l'ADP en ATP

La phosphorylation oxydative

2– Localisation:

S'effectue dans la **mitochondrie**

Ce sont des organites intracellulaire formés de:

a– Membrane externe:

Perméable aux ions, et petites molécules.

Des canaux transmembranaires permettent le passage de molécules de grandes tailles.

b– Membrane interne:

Imperméable aux ions, et petites molécules.

Les seules molécules qui traverses la membrane interne sont celles pour lesquelles existent un

transporteur spécifique

La phosphorylation oxydative

Elle présente des repliements: **Crêtes**, comportant les composants de la chaîne respiratoire, et le complexe enzymatique permettant la synthèse de l'ATP.

Les 2 membranes sont séparées par un **espace transmembranaire**.

c-Matrice mitochondriale:

Contient du DNA mitochondrial, ribosomes, ATP, ADP, les enzymes de la β -oxydation, du cycle de Krebs, et les enzymes de l'oxydation des acides aminés

La chaine respiratoire

La plupart des électrons entrant dans la chaine respiratoire proviennent de l'action de **déshydrogénases**, qui recueillent les électrons issus des réactions oxydatives du complexe de la pyruvate déshydrogénase, du cycle de krebs, de la β oxydation des acides gras et des étapes oxydatives du catabolisme des acides aminés

Ces déshydrogénases utilisent comme accepteur d'électrons soit :

- Un cycle nicotinamide (NAD, ou NADP)
- Un nucléotide flavinique (FAD, FMN)

La chaine respiratoire

Constituants de la chaine: consiste en

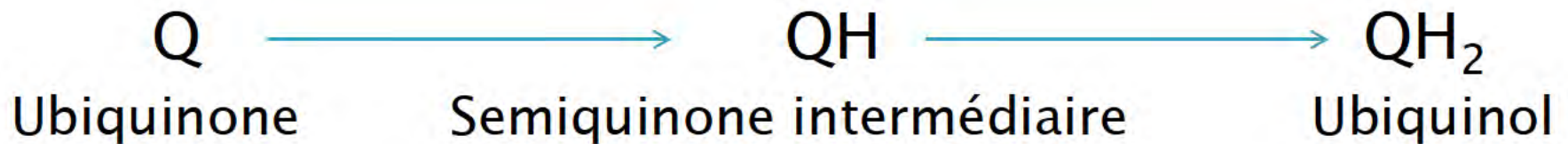
- Série de transporteurs d'électrons, dont la plupart sont des protéines intégrales insérées dans la membrane interne. Elle comprend:
 - **4 complexes fixes (I,II, III, et IV)**
- Contiennent des groupements d'oxydoréduction capables d'échanger 1 ou 2 électrons(FAD, FMN, protéine à centre Fer souffre, et cytochrome.

La chaine respiratoire

➤ 2 transporteurs mobiles d'électrons:

1 – Le co-enzyme Q (Ubiquinone)

Diffuse du complexe I et II vers le complexe III



2 – Le cytochrome C:

Mobile entre le complexe III et IV

La chaine respiratoire

Fonctionnement de la chaine:

Complexe I: NADH coenzyme Q réductase

Comprend du FMN et plusieurs protéines

Fer-soufre

Reçoit les électrons su NADH,H⁺ mitochondriale
(CK, et β oxydation) et cytosolique (glycolyse)

Ils les passent au coenzyme Q via le FMN et les
protéines fer-soufre



La chaine respiratoire

Complexe I: NADH coenzyme Q réductase

Le flux d'électrons du complexe I vers le coenzyme Q s'accompagne d'un mouvement de 4 protons de la matrice vers l'espace intermembranaire (Pompe à protons)

La chaine respiratoire

Complexe II: Succinate coenzyme Q oxydoréductase

Comprend la succinate déshydrogénase à coenzyme FAD (6^e réaction du CK) et plusieurs protéine Fer-soufre.

Ce complexe reçoit des équivalents réducteurs du FADH₂ produit par le CK et les passent au coenzyme Q via les protéine Fer-soufre



La chaine respiratoire

Complexe III: du coenzyme QH₂ au cytochrome C oxydoréductase

Comprend 2 cytochromes b, une protéine Fer-soufre et le cytochrome c.

Il reçoit les équivalents réducteurs du coenzyme QH₂ et les passent au cytochrome c via les cytochrome b et la protéine Fer-soufre.

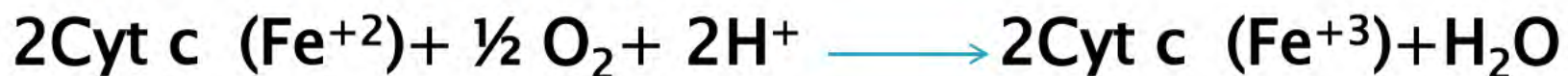
Il fonctionne également comme une pompe à protons (4 H⁺)

La chaine respiratoire

Complexe IV: Cytochrome oxydase

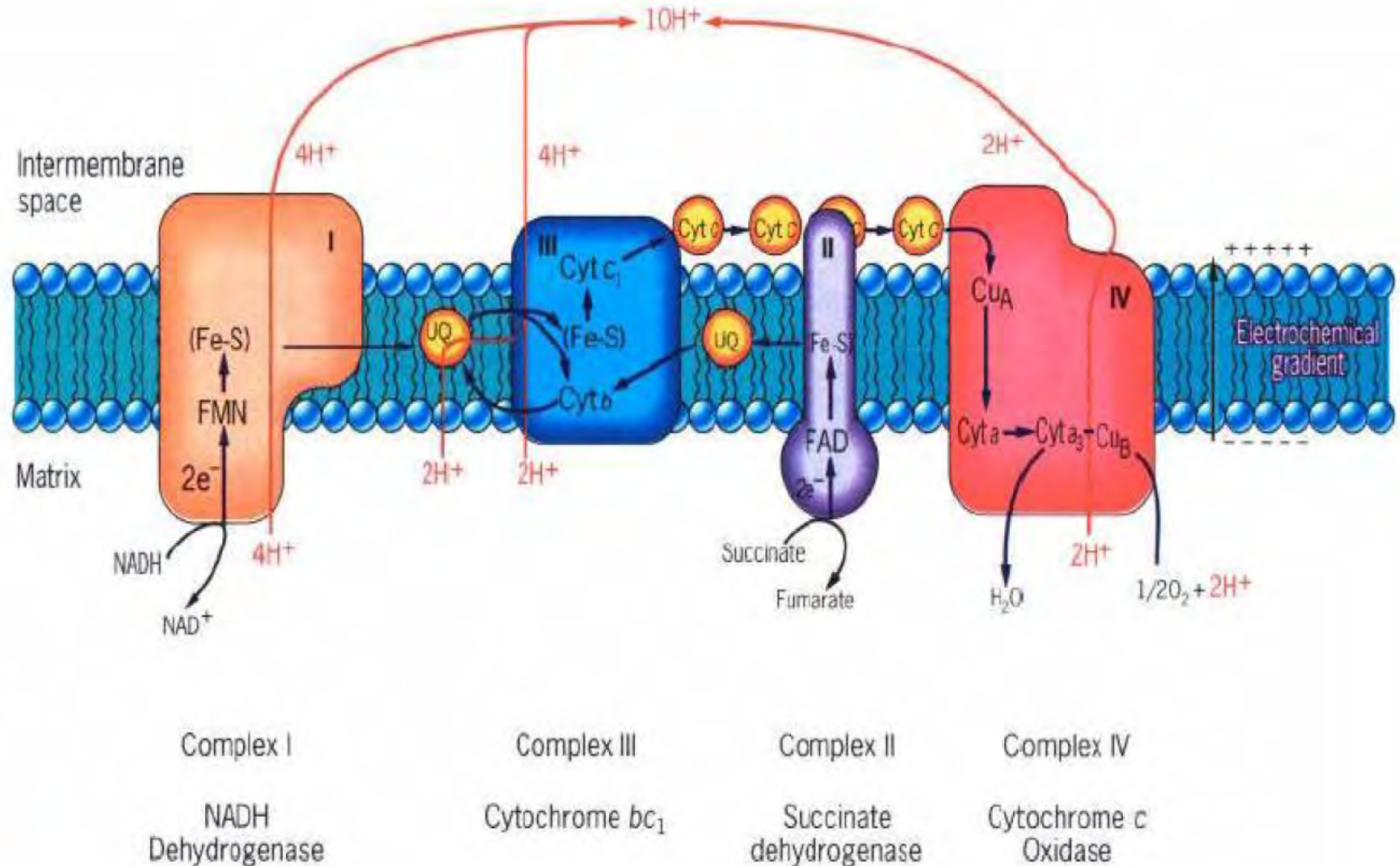
Comprend les cytochromes a/a₃, et 2 ions Cu⁺²

Il reçoit les équivalents réducteurs du cytochrome c et les passent à l'oxygène via les cytochrome a/a₃.



Il fonctionne également comme une pompe à protons (2 H⁺)

La chaine respiratoire



La chaine respiratoire

Mécanisme de la phosphorylation oxydative:

1 – couplage entre l'oxydation du substrat et la phosphorylation de l'ADP:

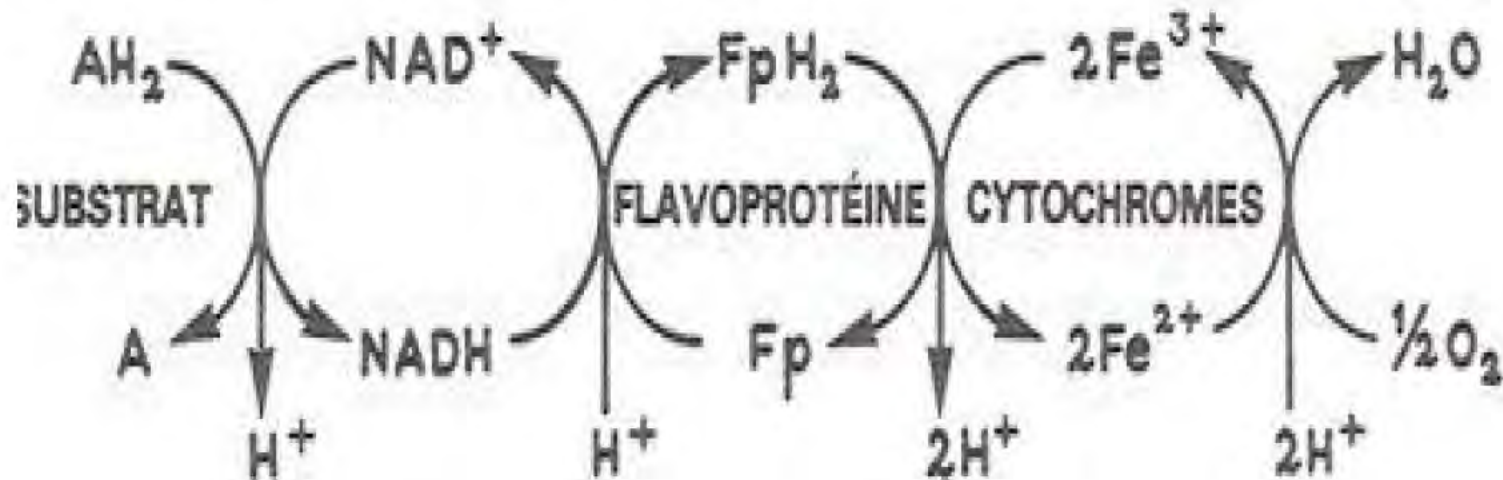
Lorsque la mitochondrie est mise en présence d'ADP, de P_i , et un substrat oxydable, 3 phénomènes se produisent:

- 1 – Le substrat est oxydé
- 2 – L'oxygène est consommé (respiration cellulaire)
- 3 – De l'ATP est synthétisé

La chaine respiratoire

Mécanisme de la phosphorylation oxydative:

1 – couplage entre l'oxydation du substrat et la phosphorylation de l'ADP:



Transport des équivalents réducteurs à travers la chaine respiratoire

La chaine respiratoire

Mécanisme de la phosphorylation oxydative:

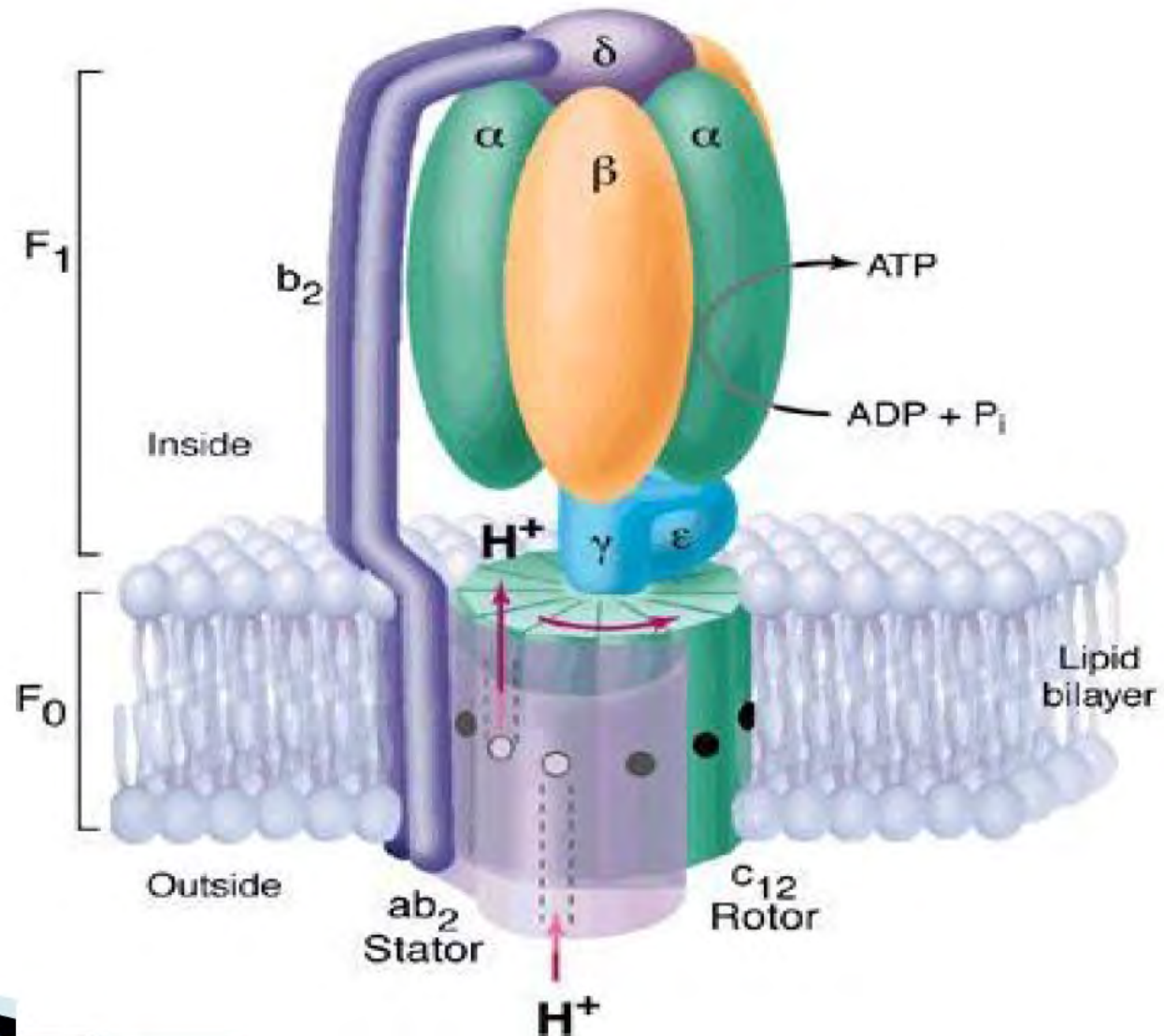
2– ATP synthase:

Représente le complexe enzymatique impliqué dans la synthèse de l'ATP

Ce complexe est localisé au niveau de la MI mitochondriale.

Il comprend 2 composants majeurs F_1/F_0

La chaine respiratoire



La chaine respiratoire

a– Sous unité F_1 :

Retrouvée dans la MI coté matricielle

Constituée de plusieurs sous unités

Dotée d'une activité ATPase et ATP synthase

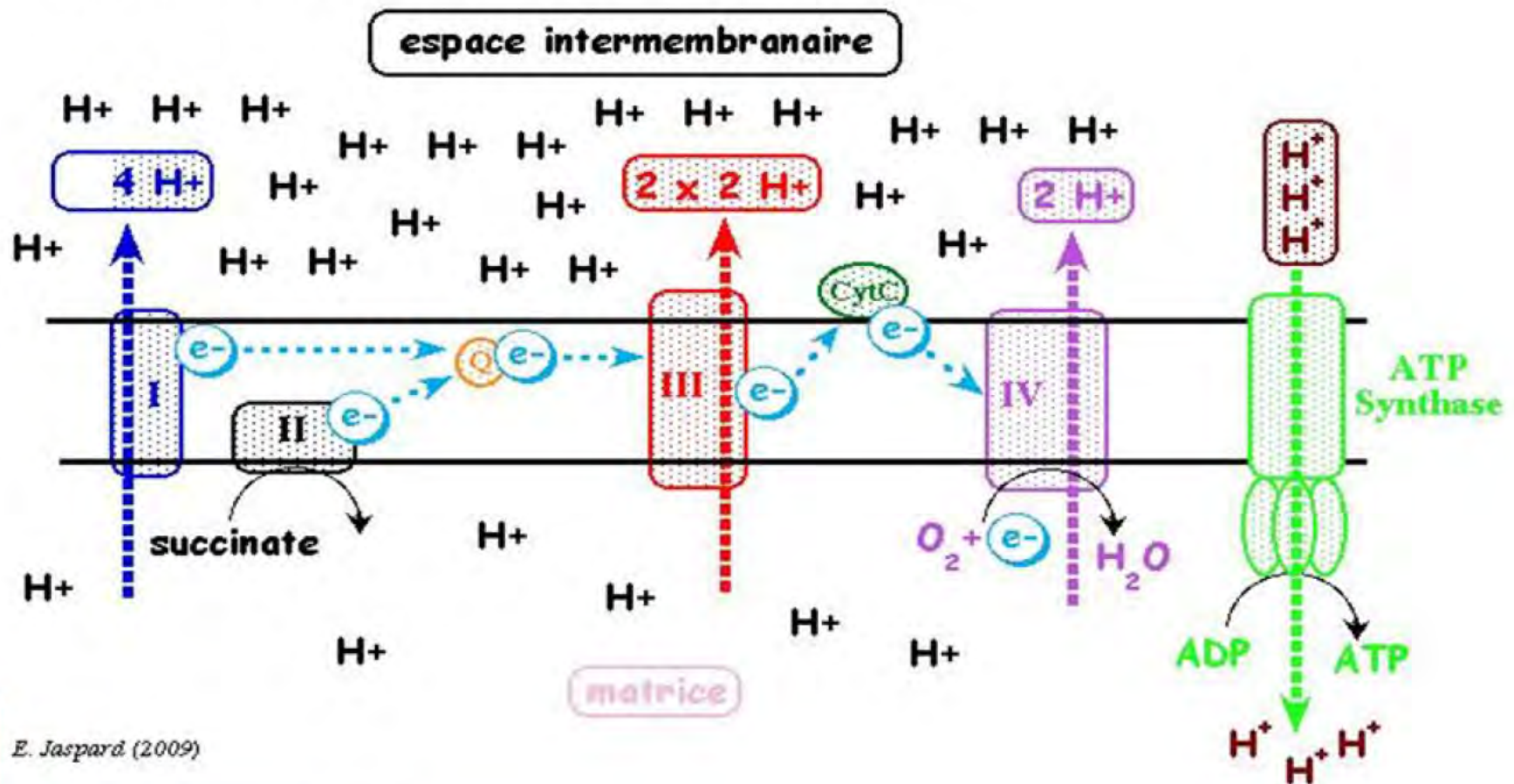
b– Sous unité F_0 :

Transmembranaire

Constituée de 4 polypeptides distinct qui forment un canal transmembranaire, à travers lequel les protons H^+ traversent la membrane (canal à protons)

La chaîne respiratoire

Le couplage de 3 protons est nécessaire à la synthèse d'une molécule d'ATP



E. Jaspard (2009)

La chaine respiratoire

Théorie chimio-osmotique:

Le transfère des électrons le long de la chaine respiratoire est accompagnée d'un pompage de protons à travers la membrane interne des mitochondries, qui aboutit à un gradient de protons (de pH):

La matrice devient basique par rapport à l'espace intermembranaire.

Il se crée une force proton motrice, qui est utilisée pour la synthèse d'ATP:

La chaine respiratoire

Théorie chimio-osmotique:

Il s'en suit:

Disparition du gradient de protons par la sous
unité F_0

(Ils retournent de l'espace inter membranaire vers
la matrice mitochondriale),
couplée à la phosphorylation de l'ADP en ATP par
la sous unité F_1

La chaine respiratoire

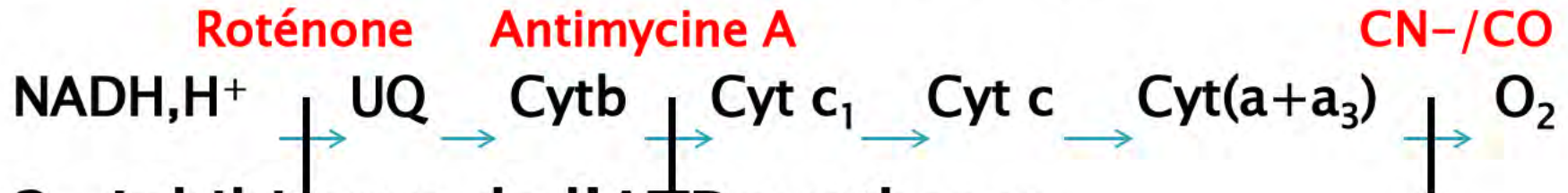
Pour le NADH, H^+ 10 protons sont pompés:
Synthèse de **3 molécules d'ATP**

Pour le FADH_2 , 6 protons sont pompés:
Synthèse de **2 molécules d'ATP**

La chaine respiratoire

Inhibiteurs et agent de découplage de la chaine respiratoire:

1– Inhibiteurs de transfert d'électrons:



2– Inhibiteurs de l'ATP synthase:

Oligomycine: Inhibe F₁

Carbodiimide: bloque le flux à travers F₀

3– Agents découplants:

Dinitrophénol: bloque le transport de protons au travers de la MI des mitochondrie

La phosphorylation oxydative

- La phosphorylation oxydative est l'aboutissement du métabolisme libérant de l'énergie chez les organismes aérobies.
- Toutes les étapes enzymatiques de la dégradation oxydative des sucre, lipides, et des acides aminés convergent vers ce stade ultime de la respiration cellulaire,

Durant lequel le transfert d'électrons jusqu'à l'oxygène fournit l'énergie nécessaire à la formation d'ATP à partir d'ADP et P_i .

La phosphorylation oxydative

1- Définition:

C'est l'ensemble des mécanismes biochimiques par l'intermédiaire desquels l'énergie libérée au cours du transfert des électrons dans la chaîne respiratoire, est utilisée pour la phosphorylation de l'ADP en ATP.

La phosphorylation oxydative

2- Localisation:

- Mitochondrie
- Organites intracellulaire formés de:

a- Membrane externe:

- Perméable aux ions, et petites molécules.
- Des canaux transmembranaires permettent le passage de molécules de grandes tailles.

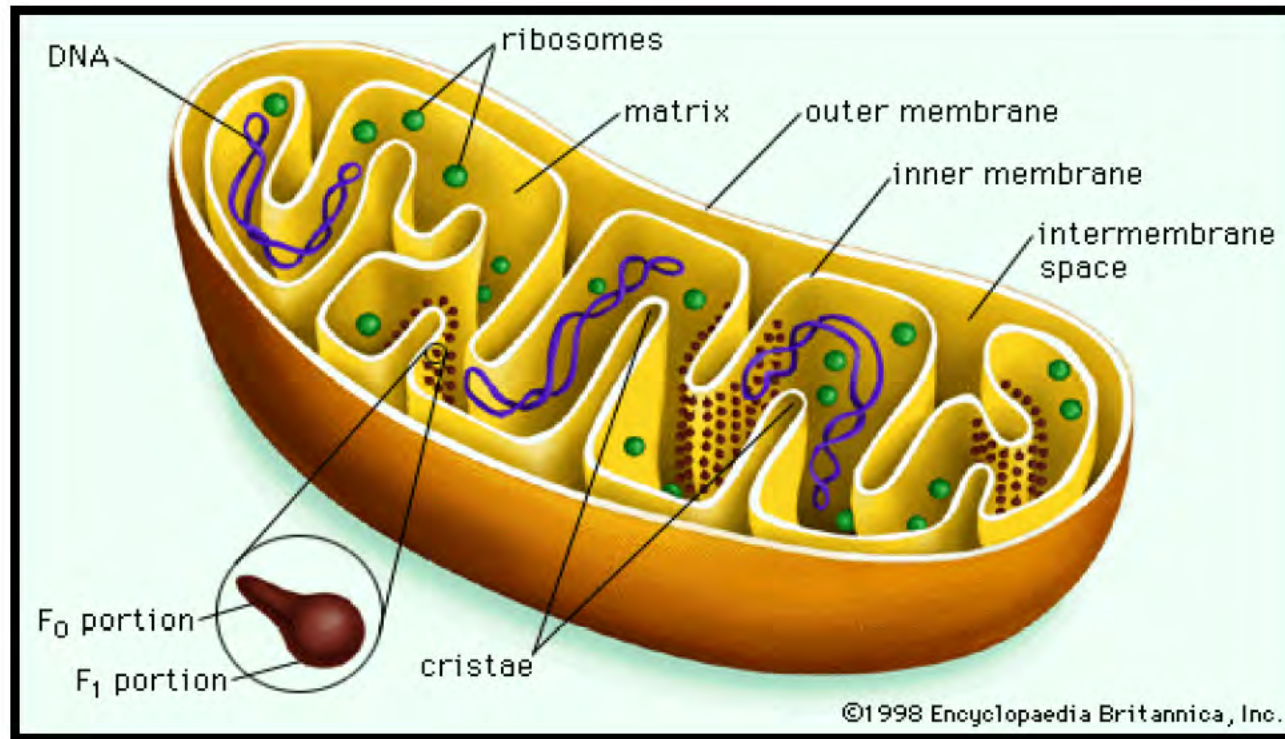
b- Membrane interne:

- Imperméable aux ions, et petites molécules.
- Les seules molécules qui traversent la membrane interne sont celles pour lesquelles existe un **transporteur spécifique.**

La phosphorylation oxydative

- Elle présente des repliements: **Crêtes**, comportant les composants de la chaîne respiratoire, et le complexe enzymatique permettant la synthèse de l'ATP.
 - Les 2 membranes sont séparées par un **espace transmembranaire**.
- c-Matrice mitochondriale:**
- Contient du DNA mitochondrial, ribosomes, ATP, ADP, enzymes de la β -oxydation, du cycle de Krebs, et les enzymes de l'oxydation des acides aminés

La phosphorylation oxydative



La chaine respiratoire

- La plupart des électrons entrant dans la chaine respiratoire proviennent de l'action de **déshydrogénases**.
- Ces enzymes recueillent les électrons issus des réactions oxydatives du **complexe de la pyruvate déshydrogénase**, du **cycle de krebs**, de la **β oxydation des acides gras** et des **étapes oxydatives du catabolisme des acides aminés**.
- Elles utilisent comme accepteur d'électrons soit :
 - Un cycle nicotinamide (NAD, ou NADP).
 - Un nucléotide flavinique (FAD, FMN).

La chaîne respiratoire

Constituants de la chaîne:

- Série de transporteurs d'électrons, dont la plupart sont des protéines intégrales insérées dans la membrane interne. Elle comprend:

- **4 complexes fixes (I,II, III, et IV)**

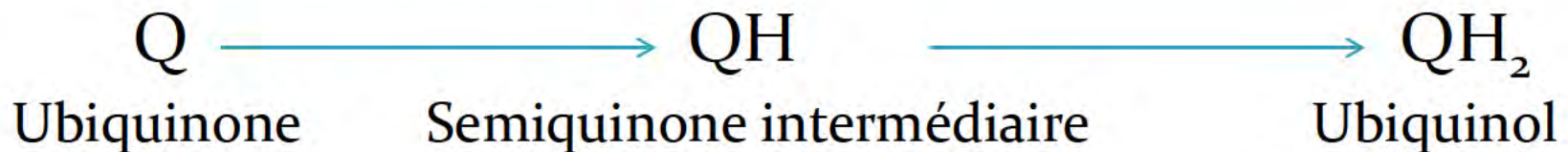
Contiennent des groupements d'oxydoréduction capables d'échanger 1 ou 2 électrons (FAD, FMN, protéine à centre Fer soufre, et cytochrome).

La chaine respiratoire

➤ 2 transporteurs mobiles d'électrons:

1- Le co-enzyme Q (Ubiquinone)

Diffuse du complexe I et II vers le complexe III



2- Le cytochrome C:

Mobile entre le complexe III et IV

La chaine respiratoire

Fonctionnement de la chaine:

Complexe I: NADH coenzyme Q réductase:

FMN et plusieurs protéines Fer-soufre

- Reçoit les électrons su NADH,H⁺ mitochondriale (CK, et β oxydation) et cytosolique (glycolyse)
Il les passent au coenzyme Q via le FMN et les protéines fer-soufre

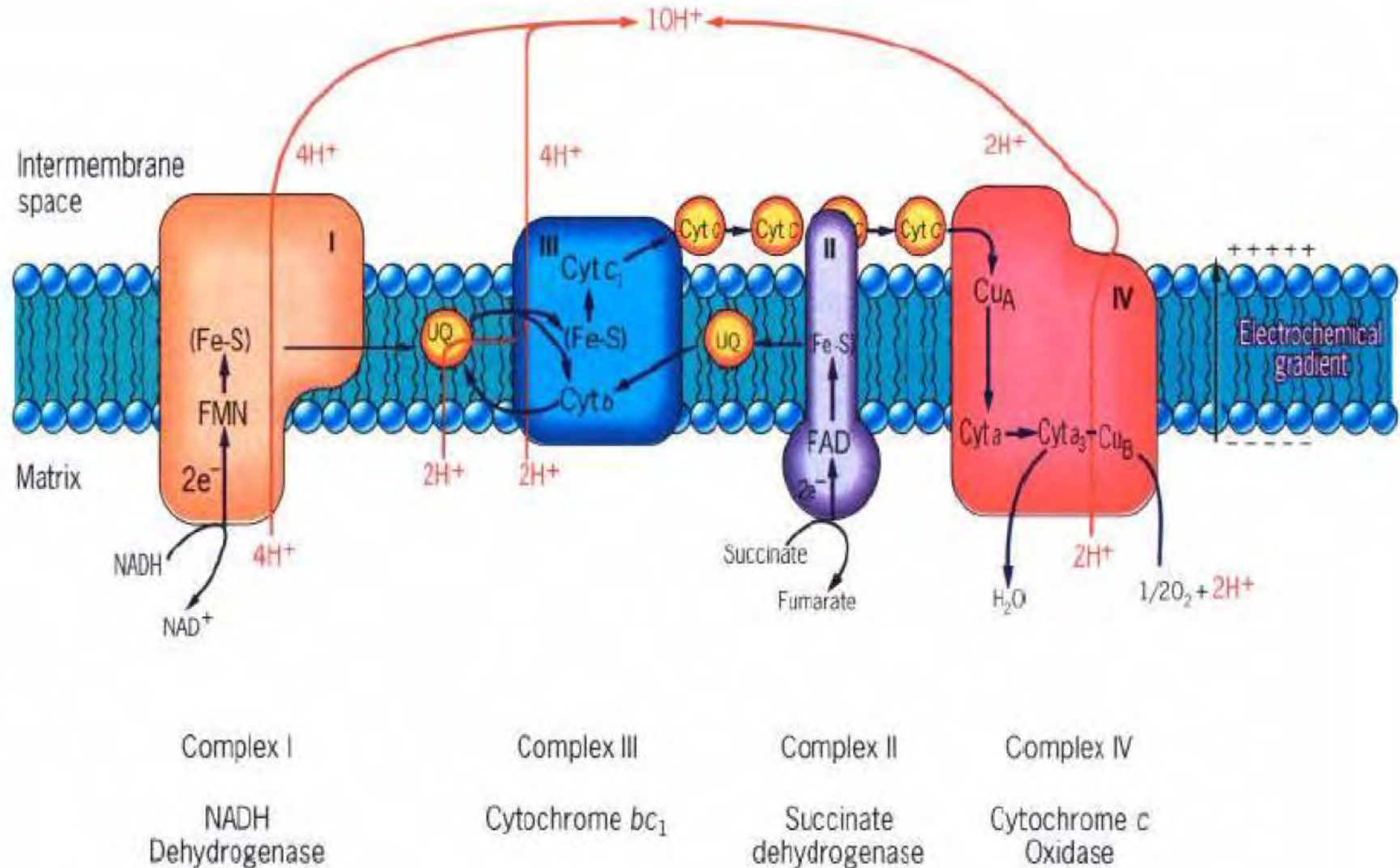


La chaine respiratoire

Complexe I: NADH coenzyme Q réductase

Le flux d'électrons du complexe I vers le coenzyme Q s'accompagne d'un mouvement de 4 protons de la matrice vers l'espace intermembranaire (Pompe à protons)

La chaine respiratoire



La chaine respiratoire

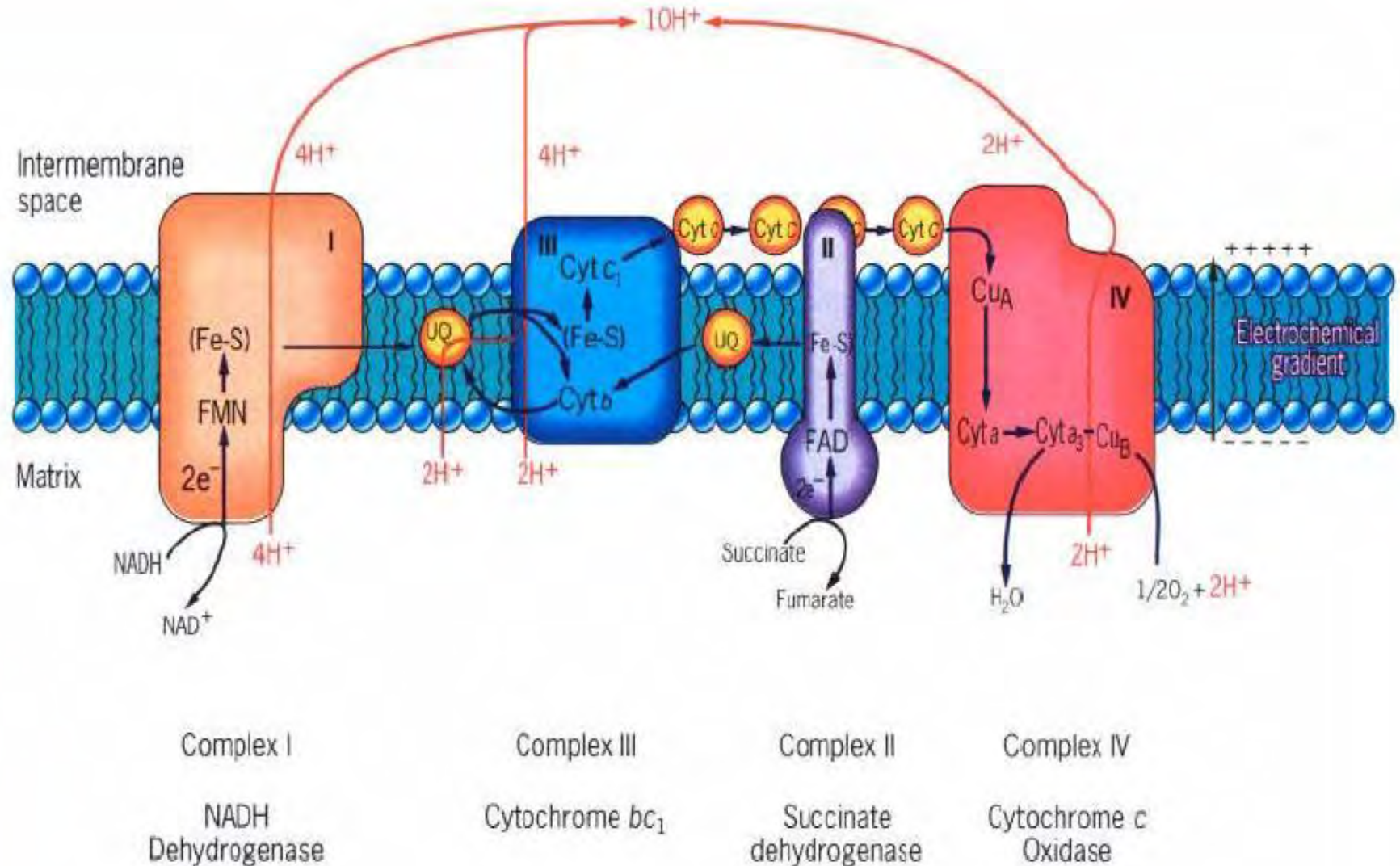
Complexe II: Succinate coenzyme Q oxydoréductase:

La succinate déshydrogénase à coenzyme FAD (6^e réaction du CK)
et plusieurs protéine Fer-soufre.

- Reçoit des équivalents réducteurs du FADH₂ produit par le CK et les passent au coenzyme Q via les protéine Fer-soufre



La chaine respiratoire



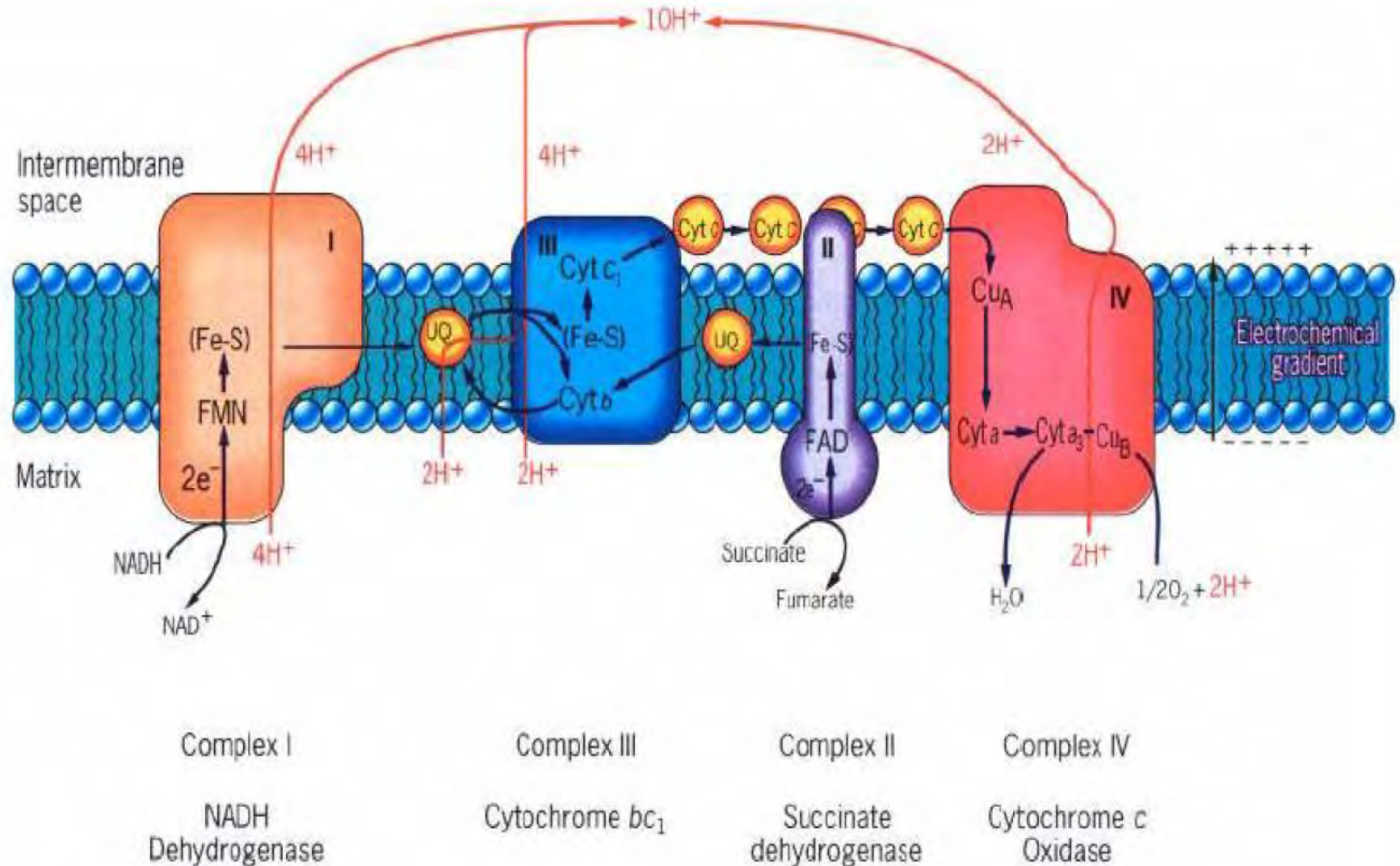
La chaine respiratoire

Complexe III: coenzyme QH₂ - cytochrome C oxydoréductase : 2 cytochromes b, 1 protéine Fer-soufre et le cytochrome c.

Reçoit les équivalents réducteurs du coenzyme QH₂ et les passent au cytochrome c via les cytochrome b et la protéine Fer-soufre.

Il fonctionne également comme une pompe à protons (4 H⁺)

La chaine respiratoire



La chaine respiratoire

Complexe IV: Cytochrome oxydase

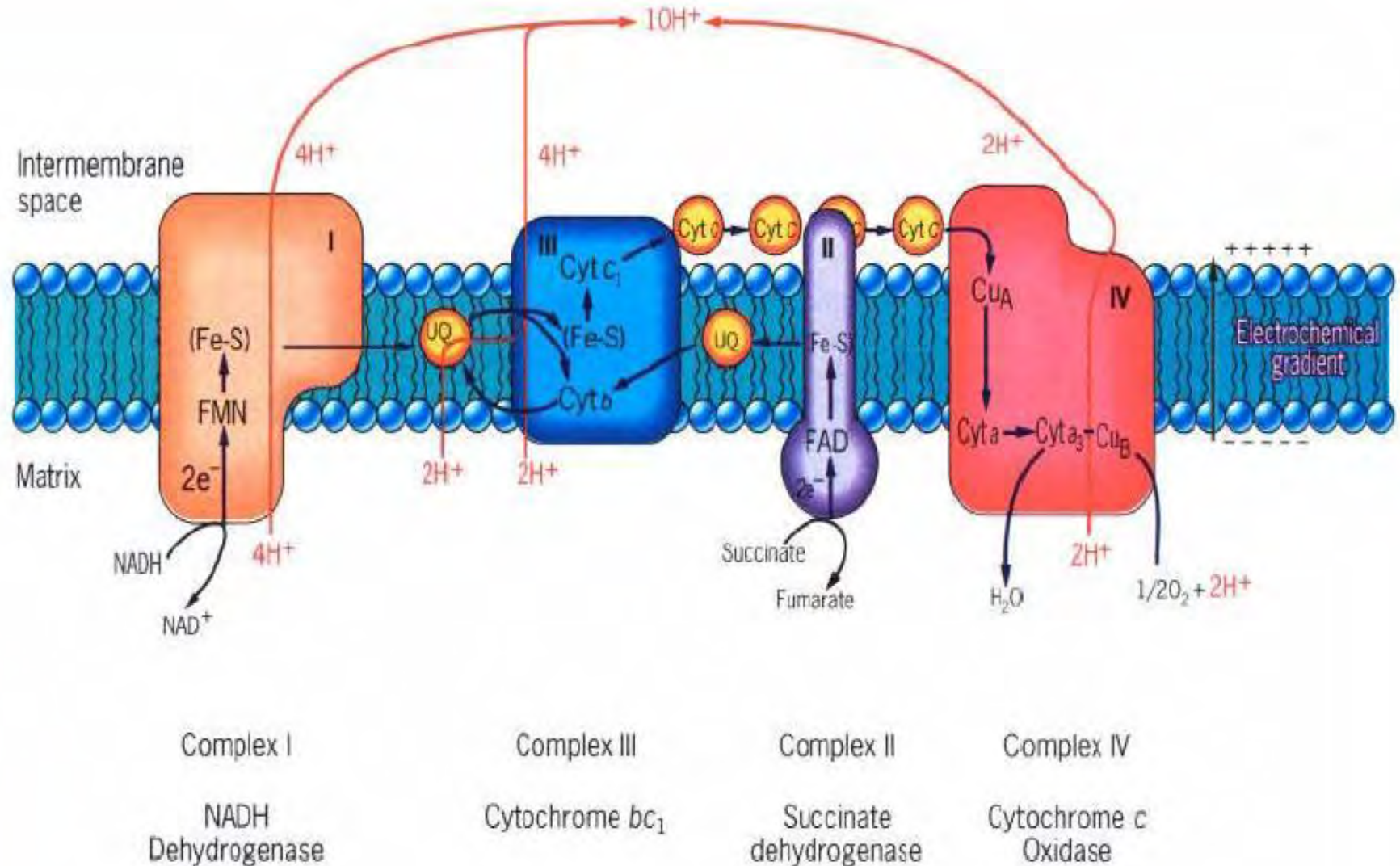
Comprend les cytochromes a/a₃, et 2 ions Cu⁺²

Reçoit les équivalents réducteurs du cytochrome c et les passent à l'oxygène via les cytochrome a/a₃.



Il fonctionne également comme une pompe à protons (2 H⁺)

La chaine respiratoire



La chaine respiratoire

Mécanisme de la phosphorylation oxydative:

1- Couplage entre l'oxydation du substrat et la phosphorylation de l'ADP

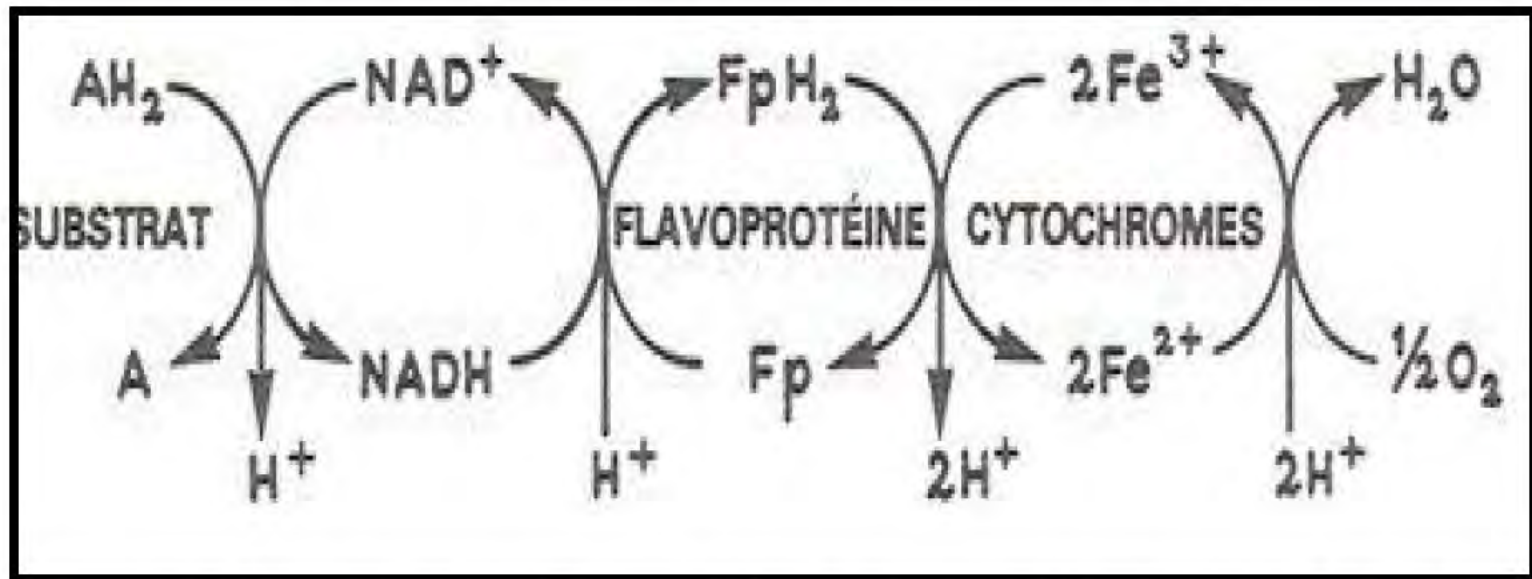
Lorsque la mitochondrie est mise en présence d'ADP, de P_i , et un substrat oxydable, 3 phénomènes se produisent:

- 1- Le substrat est oxydé
- 2- L'oxygène est consommé (respiration cellulaire)
- 3- De l'ATP est synthétisé

La chaine respiratoire

Mécanisme de la phosphorylation oxydative:

1- couplage entre l'oxydation du substrat et la phosphorylation de l'ADP:



Transport des équivalents réducteurs à travers la chaine respiratoire

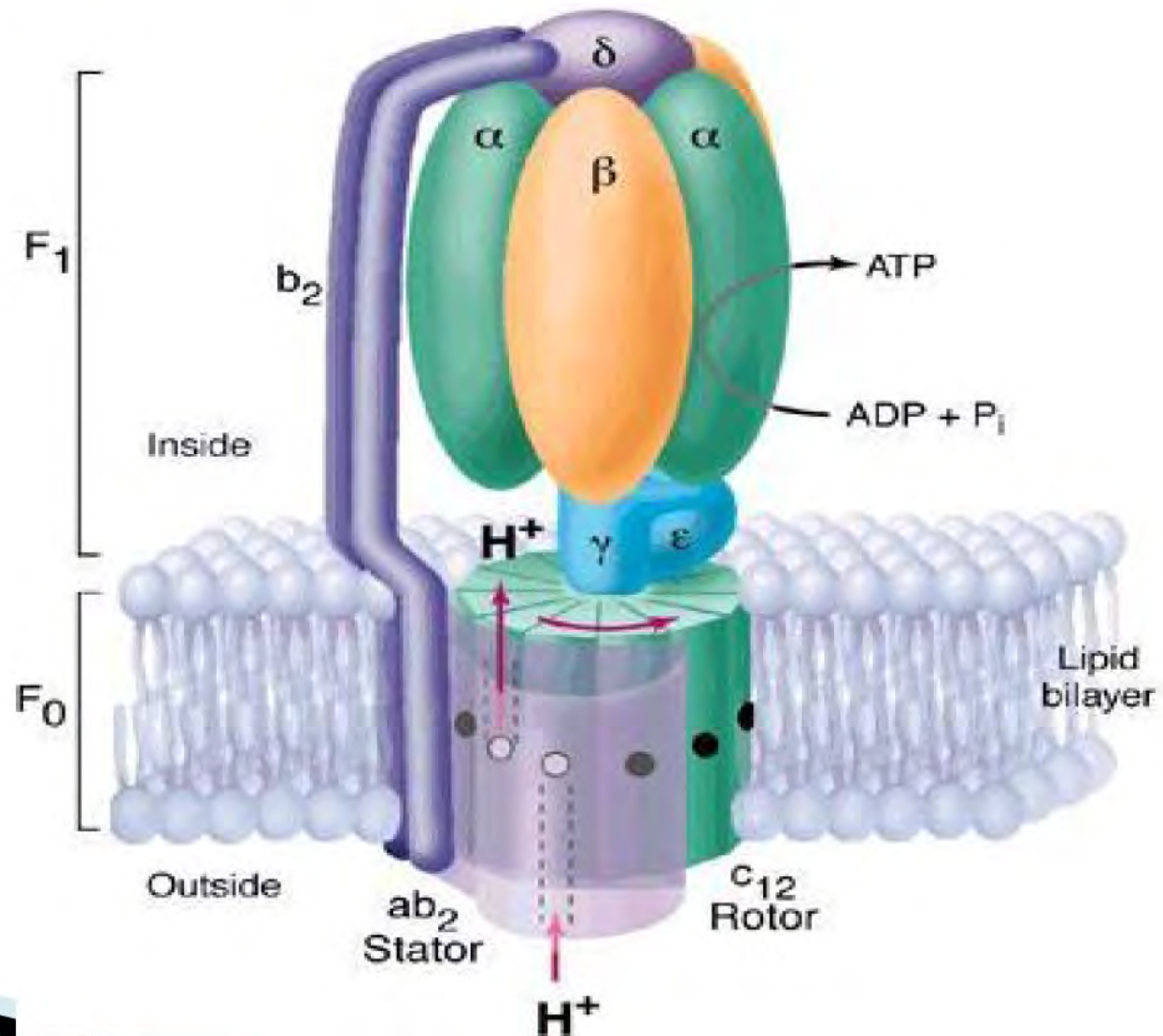
La chaine respiratoire

Mécanisme de la phosphorylation oxydative:

2- ATP synthase:

- Représente le complexe enzymatique impliqué dans la synthèse de l'ATP
- Ce complexe est localisé au niveau de la MI mitochondriale.
- Il comprend 2 composants majeurs F_1/F_o

La chaine respiratoire



La chaine respiratoire

a- Sous unité F_1 :

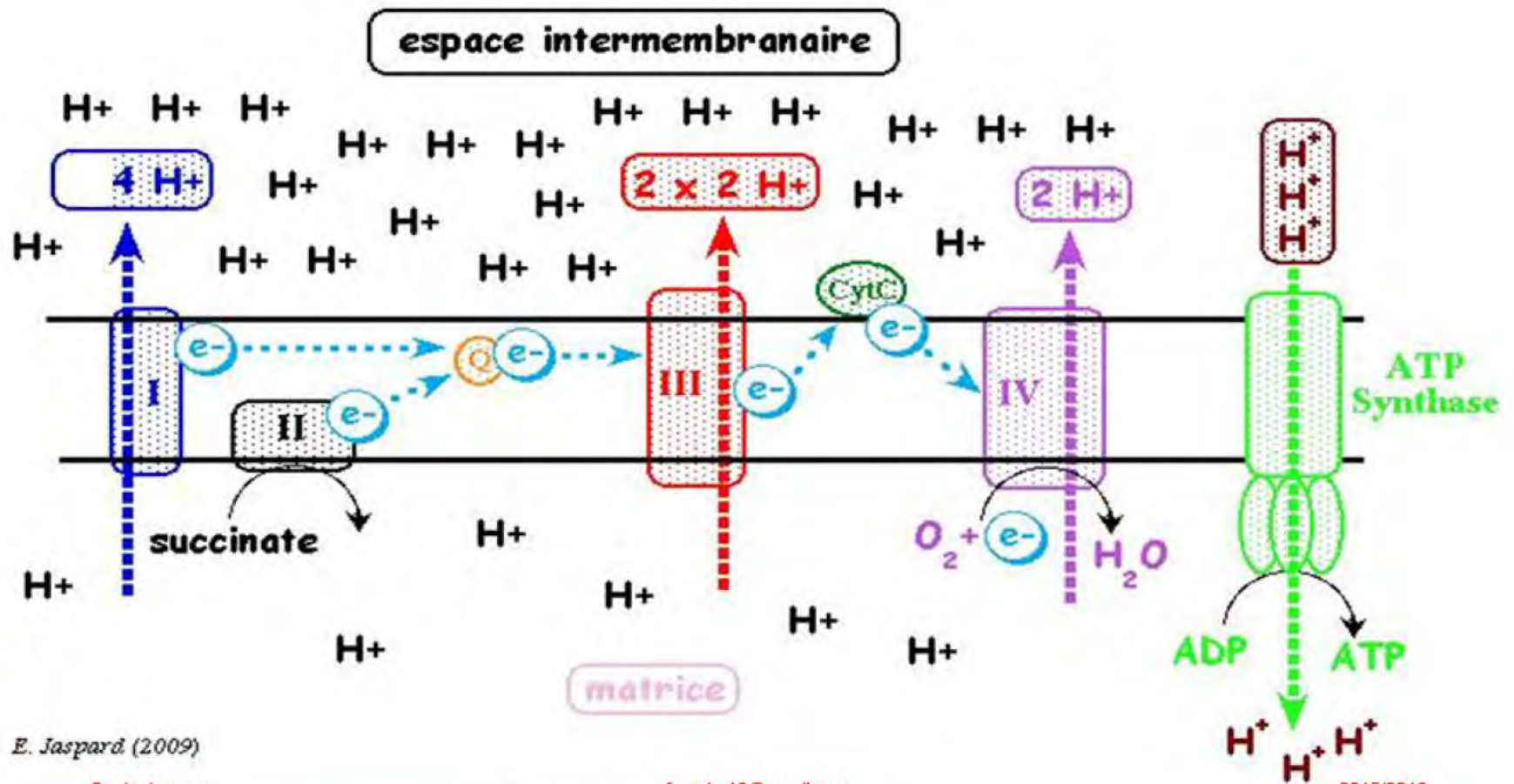
- Retrouvée dans la MI coté matricielle
- Constituée de plusieurs sous unités
- Dotée d'une activité ATPase et ATP synthase

b- Sous unité F_o :

- Transmembranaire
- Constituée de 4 polypeptides distinct qui forment un canal transmembranaire, à travers lequel les protons H^+ traversent la membrane (canal à protons)

La chaîne respiratoire

Le couplage de 3 protons est nécessaire à la synthèse d'une molécule d'ATP



E. Jaspard (2009)

La chaine respiratoire

Théorie chimio-osmotique:

Le transfert des électrons le long de la chaine respiratoire est accompagnée d'un pompage de protons à travers la membrane interne des mitochondries, qui aboutit à un gradient de protons (de pH):

- ➡ La matrice devient basique par rapport à l'espace intermembranaire.
- ➡ Il se crée une **force proton motrice**, qui est utilisée pour la synthèse d'ATP

La chaine respiratoire

Théorie chimio-osmotique:

Il s'en suit:

- Disparition du gradient de protons par la sous unité F_o
(Ils retournent de l'espace inter membranaire vers la matrice mitochondriale),
- Couplée à la phosphorylation de l'ADP en ATP par la sous unité F_1

La chaine respiratoire

Pour le NADH,H⁺ 10 protons sont pompés:
Synthèse de **3 molécules d'ATP**

Pour le FADH₂, 6 protons sont pompés:
Synthèse de **2 molécules d'ATP**
(les équivalents réducteurs sont transférés directement
sur le complexe II)

La chaine respiratoire

Inhibiteurs et agent de découplage de la chaine respiratoire:

1- Inhibiteurs de transfert d'électrons

Les inhibiteurs permettent d'interrompre la chaîne de transfert des électrons en un point donné. Les conséquences dépendent de l'inhibiteur utilisé.



La chaine respiratoire

Inhibiteurs et agent de découplage de la chaine respiratoire:

2- Agents découplants:

Un découplant est un corps chimique qui empêche le transfert de l'énergie entre les enzymes d'oxydoréduction et l'ATP. Par conséquent, ils diminuent le gradient de protons transmembranaires.

Dinitrophénol: bloque le transport de protons au travers de la MI des mitochondrie

La chaine respiratoire

Inhibiteurs et agent de découplage de la chaine respiratoire:

3- Inhibiteurs de l'ATP synthase:

Oligomycine: Inhibe F_1

Carbodiimide: bloque le flux à travers F_o